УДК 66.023.2

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АМАЛЬГАМНО-ОБМЕННОЙ КОЛОННЫ

И.А. Тихомиров, Д.Г. Видяев, А.А. Гринюк

Томский политехнический университет
E-mail: annag11@yandex.ru

Описана методика определения основных параметров амальгамно-обменной колонны: коэффициентов разделения (обогащения), числа теоретических тарелок, высоты эквивалентной теоретической тарелки, изменения потока амальгамы с учётом разложения, величины обменного потока.

Для расчета амальгамно-обменного каскада по разделению элементов или изотопов необходимо определить его основные параметры, такие как: коэффициент разделения (обогащения), число теоретических тарелок в колонне, высоту эквивалентной теоретической тарелки, величину обменного потока, скорость разложения амальгамы вдоль по каскаду.

Кроме того, необходимо знать геометрические размеры обменной колонны и параметры заполняющей ее насадки.

Все указанные параметры, кроме обменного потока, определяются экспериментально по известным методикам [1–3]. Величина обменного потока рассчитывается с учетом обеспечения необходимой производительности каскада по целевому продукту и с учетом степени разложения потока амальгамы при ее движении по колоннам каскада. Геометрические размеры колонны и насадки обычно задаются исходя из модификации используемого оборудования.

В данной работе приведены уравнения, с помощью которых можно рассчитать характеристики амальгамно-обменной колонны и каскада в целом.

Амальгамно-обменный процесс разделения изотопов и элементов в колоннах осуществляется в форме двух дифференциальных уравнений:

$$\left(\frac{J}{J_0}+\frac{D_э}{J}\right)\frac{dc}{dx}=\varepsilon\, c\,(1-c)-\frac{q_к(c_к-c)}{J},$$

$$\frac{dc}{dn}=\varepsilon\, c\,(1-c)-\frac{q_к(c_к-c)}{J}. \quad (1)$$

В первом уравнении градиент изотопной концентрации dc/dx отнесён к длине колонны; во втором – dc/dn – отнесен к числу ступеней; J – поток циркуляции в фазах; J_0 – полный обменный поток между фазами; $D_э$ – эквивалентный коэффициент диффузии, равный коэффициентам диффузии в фазах ($D_э=D_1+D_2$); ε – коэффициент изотопного обогащения $\varepsilon=\alpha-1$, где $\alpha=\left(\frac{c}{1-c}\right)_{ам}\Big/\left(\frac{c}{1-c}\right)_{р-р}$ – коэффициент изотопного разделения; c – текущая изотопная концентрация; $c_к$ – конечное значение изотопной концентрации после обогащения; $q_к$ – величина отбора обогащенного продукта.

В соответствии с указанными уравнениями определяют и основные параметры и характеристики колонны [1–3].

1. Определение коэффициентов изотопного разделения (обогащения)

При определенной температуре обменивающиеся фазы интенсивно перемешиваются в течение определенного времени, так, чтобы изотопный обмен между ними практически завершился и наступило изотопное квазиравновесие. Определим изотопный состав c обменивающихся фаз, а также коэффициенты изотопного разделения α и обогащения ε в амальгаме и растворе по формулам:

$$\alpha=\frac{\beta_{ам}}{\beta_{р-р}};\ \varepsilon=\alpha-1.$$

2. Определение числа теоретических тарелок и высоты элементарной теоретической тарелки

а) Рассмотрим безотборный режим, в котором $q_к=0$.

Число теоретических тарелок N в колонне для данного режима определяется по формуле:

$$N=\frac{1}{\varepsilon}\ln\frac{\beta_к}{\beta_0}=\frac{1}{\varepsilon}\ln\left(\frac{c_к}{1-c_к}\right)\Big/\left(\frac{c_0}{1-c_0}\right),$$

где c_0 – начальная изотопная концентрация.

По известным значениям N и длине колонны L определяется высота элементарной теоретической тарелки:

$$H=\frac{L}{N}=\frac{1}{S},$$

где $S=N/L$.

Кроме того, если известны значения J и J_0, то с учётом того, что $D_э<<J$, оценку H можно произвести по формуле:

$$H=\frac{J}{J_0}+\frac{D_э}{J}\cong\frac{J}{J_0};$$

б) В режиме с отбором $q_к$ при J=const при интегрировании (1) от нуля до c и от c_0 до $c_к$ будем иметь число теоретических тарелок:

$$N=\frac{1}{\varepsilon(x_1-x_2)}\ln\frac{(c_к-x_1)(x_2-c_0)}{(c_к-x_2)(x_1-c_0)}. \quad (2)$$

Здесь:

$$x_1=\frac{1}{2}\left(1+\frac{q_к}{J\varepsilon}\right)+\sqrt{\frac{1}{4}\left(1+\frac{q_к}{J\varepsilon}\right)^2-\frac{q_к c_к}{J\varepsilon}}\ \text{и}\ x_2=\frac{1}{x_1}\cdot\frac{q_к c_к}{J\varepsilon},$$

где x_1 и x_2 – корни квадратного уравнения типа $c^2-ac+b=0$.

3. Оценка потоков циркуляции в колонне с учётом разложения амальгамы

С учётом разложения амальгамы J_p поток на n-ой ступени будет равен:

$$J_n = J_{нач} - \int_0^x J_p dx = J_{нач} - \int_0^n \frac{J_p}{S} dn = J_{нач} - \int_0^n J_p H dn,$$

здесь $J_{нач}$ – начальный поток циркуляции, J_n, J_p – поток циркуляции и разложения, H – высота элементарной теоретической тарелки.

При условии J_p=const и S=1/H=const:

$$J_n = J_{нач} - J_p \frac{n}{S} = J_{нач} - J_p Hn.$$

Даже при этом допущении интегрирование ур. (1) с учётом разложения амальгамы будет затруднено. Решить данную проблему можно путём перехода к усредненному потоку циркуляции.

а) Заменим переменную J_n, усреднив потоки:

$$J_n = \frac{J_{нач} + J_{кон}}{2} = \text{const},$$

где $J_{кон}$ – конечный поток циркуляции.

В этом случае ур. (1) решается, и вид расчётной формулы для N будет практически совпадать с выражением (2).

б) Предположим, что поток циркуляции по колонне изменяется по линейному закону:

$$J_{кон} = J_{нач} - R \cdot J_{кон} = (1 - R) \cdot J_{нач}, \qquad (3)$$

где R – доля разложения амальгамы вдоль по колонне.

С учётом соотношения (3) получаем для потока циркуляции:

$$J_n = \left(1 - \frac{R}{2}\right) \cdot J_{нач} = \text{const}.$$

В этом случае уравнение колонны (1) для N практически решается по типу ур. (2).

4. Оценка величины обменного потока

В соответствии с ур. (1), где $D_э$<<J, можем записать:

$$H = \left(\frac{J}{J_0} + \frac{D_э}{J}\right) \cong \frac{J}{J_0}, \quad \text{т.е.} \quad J_0 \cong J \cdot S = \frac{J}{H}.$$

Усреднённый обменный поток на единице длины для колонны можно записать в виде:

$$\bar{J}_0 = \bar{J}_n \cdot S.$$

Следовательно, величину среднего обменного потока $J_{0\Sigma}$ для колонны можно оценить как:

$$J_{0\Sigma} = \bar{J}_0 \cdot L = \bar{J}_n \cdot S \cdot L = \bar{J}_n \cdot N.$$

Таким образом, разработана методика определения основных параметров амальгамно-обменной колонны: коэффициентов разделения (обогащения), числа теоретических тарелок, высоты эквивалентной теоретической тарелки, изменения потока амальгамы с учётом разложения, величины обменного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. – М.: Атомиздат, 1960. – 436 с.
2. Тихомиров И.А., Орлов А.А., Видяев Д.Г. Разделение изотопов и элементов электрохимическими и обменными методами. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 203 с.
3. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Катальников С.Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоиздат, 1982. – 206 с.